虾青素复合添加剂对蛋鸡生产性能、蛋品质、蛋黄抗氧化指标和蛋黄中虾青素含量的影响

王钧艺[1] 闫 研[1] 金辉东[2] 郗大兴[3] 严昌国[1] 李香子[*]

（1.延边大学肉牛科学产业技术协同创新中心，延吉 133000；2.吉林省延吉市动物疫病预防控制中心，延吉 133000；3.吉林希玛生物技术有限公司，辽源 136200）

摘 要：本试验旨在研究蛋鸡饲粮中添加虾青素复合添加剂对蛋鸡生产性能、蛋品质、蛋黄抗氧化指标和蛋黄中虾青素含量的影响。试验选用 43 周龄京红鸡 360 只，随机分为 5 组，每组设 6 个重复，每个重复 12 只鸡。Ⅰ组为对照组，饲喂不添加虾青素复合添加剂的基础饲粮；Ⅱ~Ⅴ组为试验组，分别饲喂在基础饲粮基础上添加 0.6、1.2、2.4 和 3.6 g/kg 虾青素复合添加剂的试验饲粮。预试期为 4 周，正式期 6 周。结果表明：1）饲粮添加虾青素复合添加剂对蛋鸡的平均日采食量、产蛋率和料蛋比均未产生显著影响（$P>0.05$）。2）饲粮添加虾青素复合添加剂对蛋鸡的平均蛋重、蛋黄百分比、蛋壳厚度和哈氏单位均未产生显著影响($P>0.05$)。各试验组蛋黄颜色均显著高于对照组（$P<0.05$）；随着虾青素复合添加剂添加量的增加，蛋黄颜色逐渐加深。3）随着虾青素复合添加剂添加量的增加，蛋黄中丙二醛含量逐渐下降，蛋黄中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性逐渐升高；Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组蛋黄中丙二醛含量均显著低于对照组（$P<0.05$），各试验组蛋黄中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性均显著高于对照组（$P<0.05$）。4）对照组蛋黄中没有检出虾青素，试验组蛋黄中虾青素含量随着虾青素复合添加剂添加量的增加而显著增加（$P<0.05$）。由此得出，饲粮中添加虾青素复合添加剂对蛋鸡的生产性能没有显著影响，但能加深蛋黄颜色，提高蛋黄抗氧化性能和蛋黄中虾青素含量，以添加量为 3.6 g/kg 时效果最佳。

关键词：蛋鸡；虾青素；生产性能；蛋品质；抗氧化

中图分类号：S816 文献标识码：A 文章编号：

虾青素(astaxanthin)又称虾黄素，是类胡萝卜素科的秦椒黄族中的一种。秦椒黄有助于防止维生素 A、维生素 E 及其他类胡萝卜素发生氧化。秦椒黄是所有类胡萝卜素中抗氧化效果最强的，比 β 所胡萝卜素抗氧化效果强 10 倍，比维生素 E 抗氧化效果强 100 倍。虾青素具有抗氧化[1]、抗肿瘤、预防心脑血管等疾病的作用[2-3]，同时由于虾青素呈现鲜红的属性

收稿日期：2018-01-04
作者简介：王钧艺（1994-），女，吉林农安人，硕士研究生，动物养殖专业。E-mail： 928400811@qq.com
*通信作者：李香子，副教授，博士生导师，E-mail： lxz@ybu.edu.cn

[4-5]，将其加入饲粮中可以改变畜禽产品的色泽，增强动物的免疫力；虾青素在鸡体内代谢留下的虾青素以及沉积在鸡蛋中的虾青素对人体同样是很好的营养补充品[6]。天然界虾青素是由藻类、细菌和浮游植物物产生的。目前，虾青素的生产具有人工合成和生物获取 2 种方式。人工合成虾青素不仅价格昂贵，而且同天然虾青素在结构、功能、应用及安全性等方面差别显著。目前，天然虾青素的生物来源一般有 3 种：水产品加工工业的废弃物、红发夫酵母和雨生红球藻。付兴周等[7]报道，在肉鸡饲粮里添加虾青素，可以使肉鸡的皮肤、角等部位黄色加深，使鸡肉黄色加深；王彤[8]研究发现，在蛋鸡中添加虾青素，可以使鸡蛋的营养价值增高，蛋黄颜色加深。冯畅[9]研究表明，虾青素可以提高肉鸡机体的免疫能力。关于在蛋鸡饲粮中添加虾青素里对蛋黄抗氧化指标影响的相关报道很少，因此，本试验在蛋鸡饲粮里添加不同剂量的虾青素复合添加剂，研究虾青素复合添加剂对蛋鸡生产性能、蛋品质、蛋黄抗氧化指标和蛋黄中虾青素含量的影响，旨在为虾青素在蛋鸡生产中的应用提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

虾青素复合添加剂由吉林希玛生物技术有限公司提供，是从红发夫酵母中提取虾青素后制成的复合添加剂，其虾青素含量为 0.40%。

1.2　试验设计与饲粮

试验采用单因子试验设计，选取体质健康、体重和体尺相近、产蛋率相似的 43 周龄京红鸡 360 只，随机分成 5 组，每组设 6 个重复，每个重复 12 只鸡。试验分为预试期和正试期，预试期 4 周，正试期 6 周，预试期各组均饲喂基础饲粮，按组统计产蛋率，并根据统计结果进行适当调整。Ⅰ组为对照组，Ⅱ~Ⅴ组为试验组，试验正试期内Ⅰ组饲喂基础饲粮，Ⅱ~Ⅳ组分别饲喂在基础饲粮基础上分别添加 0.6、1.2、2.4 和 3.6 g/kg 虾青素复合添加剂的试验饲粮。基础饲粮参照 NRC（1994）和我国《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004），并结合《京红鸡饲养管理手册》进行配制，其组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	

玉米 Corn	63.00
豆粕 Soybean meal	16.00
石粉 Limstone	9.00
预混料 Premix[1)]	12.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.68
粗蛋白质 CP	16.50
钙 Ca	3.50
总磷 AP	0.60
赖氨酸 Lys	0.77
蛋氨酸 Met	0.32
色氨酸 Trp	0.17

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kilogram of the diet：NaCl 0.26 mg，VA 7 000 IU，VD_3 2 500 IU，VE 30 mg，VK_3 1 mg，VB_1 1.5 mg，VB_2 4 mg，VB_6 2 mg，VB_{12} 0.02 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 10 mg，生物素 biotin 0.16 mg，氯化胆碱 choline chloride 400 mg，Cu (as copper sulfate) 20 mg，Fe (as ferrous sulfate) 70 mg，Mn (as manganese sulfate) 100 mg，Zn (as zinc sulfate) 70 mg，I (as potassium iodide) 0.4 mg，Se (as sodium selenite) 0.5 mg。

[2)]营养水平值为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

试验采用半开放式 3 层立体笼养，每笼（47 cm×37 cm×47 cm）3 只鸡，自然通风结合纵向负压通风，自然光照和人工补光。饲粮为干粉料，每天 08:00 和 14:00 各喂料 1 次，捡蛋和清粪各 2 次，自由采食和饮水，每周消毒 1 次。试验鸡实施常规免疫。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生产性能指标测定

试验期间，每天记录各重复死淘数、采食量、产蛋数和蛋重，计算平均日采食量、产蛋

率和料蛋比。

1.4.2 蛋品质指标测定

于正试期第 42 天，每个重复随机选取 6 枚鸡蛋进行蛋品质测定。蛋品质指标主要有平均蛋重、蛋壳厚度、哈氏单位、蛋黄颜色、蛋黄百分比。用电子分析天平测定蛋重、蛋壳重、蛋黄重，计算平均蛋重和蛋黄百分比；蛋壳厚度用游标卡尺测量，分别测量蛋壳的大头、小头还有中间部分厚度，计算得出平均值；采用罗氏比色扇测定蛋黄颜色；采用蛋白高度测定仪（NFN381/NFN382 型，日本 FHK 公司）测量鸡蛋蛋白高度后计算哈氏单位，计算公式如下：

$$哈氏单位=100\times\lg(H\text{-}1.7W^{0.37}+7.6)。$$

式中：H 为蛋白高度(mm)；W 为蛋重(g)。

1.4.3 蛋黄抗氧化指标测定

于正试期第 42 天，每个重复随机选取 6 枚鸡蛋测定蛋黄抗氧化指标。蛋黄抗氧化指标主要有丙二醛含量以及超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性，上述指标均采用试剂盒检测，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.4.4 蛋黄中虾青素含量测定

于正试期第 42 天，每个重复随机选取 6 枚鸡蛋进行蛋黄中虾青素含量测定。准确称取 0.5 g 鸡蛋蛋黄样品于 50 mL 离心管中，加入 5 mL 正己烷，涡旋振荡使之完全溶解，再加入 10 mL 氢氧化钠-甲醇(4 mol/L)溶液，涡旋振荡 2 min，避光条件下 30 ℃恒温振荡反应 30 min，加入 5 g 硫酸氢钠终止反应，低温离心(4 °C，5000 r/min)5 min，下层(甲醇-水相)过 0.45 μm 微孔滤膜，供检测。色谱柱：VanusilASB C18（250 mm×4.6 mm，5 μm)；柱温：30 ℃；检测器：DAD 紫外检测器；检测波长：476 nm；参比波长：600 nm；进样量：20 μL；流速：1.0 mL/min；流动相：纯甲醇，等度洗脱 20 min。

1.5 统计分析方法

数据经 Excel 2017 处理，采用 SPSS 17.0 的单因素方差分析（one-way ANOVA）过程进行方差分析，结果以平均值±标准差表示，$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2. 1 虾青素复合添加剂对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，饲粮添加虾青素复合添加剂对蛋鸡的平均日采食量、产蛋率和料蛋比均无显著影响(P＞0.05)。

表 2　虾青素复合添加剂对蛋鸡生产性能的影响

Table 2　Effects of astaxanthin compound additive on performance of laying hens

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	
平均日采食量 ADFI/g	102.28±0.28	102.32±0.17	102.34±0.19	102.36±0.19	102.32±0.19	0.895
产蛋率 Laying rate/%	81.33±0.02	82.00±0.03	81.33±0.03	82.00±0.03	81.67±0.03	0.786
料蛋比 Feed/egg	2.20±0.03	2.19±0.07	2.21±0.07	2.19±0.05	2.19±0.07	0.886

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P＞0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P＞0.01). The same as below.

2.2　虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋品质的影响

由表 3 可知，饲粮添加虾青素复合添加剂对平均蛋重、蛋黄百分比、蛋壳厚度和哈氏单位均无显著影响(P＞0.05)。各试验组蛋黄颜色均显著高于对照组（P<0. 05)，随着虾青素复合添加剂添加量的增加，蛋黄颜色逐渐加深，Ⅴ组蛋黄颜色达 12. 28，与其他试验组差异显著（P＜0.05）。

表 3　虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋品质的影响

Table 3　Effects of astaxanthin compound additive on egg quality of laying hens

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	
平均蛋重 Average	58.84±4.13	58.75±3.63	58.69±4.12	58.57±3.49	58.68±3.44	0.993

egg weight/g						
蛋壳厚度 Eggshell thickness/cm	0.34±0.01	0.34±0.07	0.33±0.03	0.36±0.02	0.35±0.02	0.895
蛋黄百分比 Yolk percentage /%	29.17±0.04	27.5±0.03	28.00±0.03	27.16±0.03	28.16±0.03	0.786
蛋黄颜色 Yolk color	7.60±0.53^{d}	9.67±0.52^{c}	10.67±0.52^{b}	11.22±0.96^{b}	12.28±0.62^{a}	0.030
哈氏单位 Haugh unit	86.50±2.89	85.28±2.65	85.61±2.65	84.22±4.73	84.28±3.61	0.791

2.3　虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋黄抗氧化指标的影响

由表 4 可知，随着虾青素复合添加剂添加量的增加，蛋黄中丙二醛含量逐渐降低，蛋黄中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性逐渐升高。II 组蛋黄中丙二醛含量与对照组差异不显著（P>0.05），但III、IV、V组蛋黄中丙二醛含量均显著低于对照组（P<0.05）。各试验组蛋黄中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性均显著高于对照组（P<0.05），V组蛋黄中谷胱甘肽过氧化物酶活性还显著高于其他试验组（P<0.05）。

表 4　虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋黄抗氧化指标的影响

Table 4　Effects of astaxanthin compound additive on yolk antioxidant indexes of laying hens

项目 Items	组别 Groups					*P* 值
	I	II	III	IV	V	*P*-value
丙二醛 MDA/(nmol/g)	55.09±7.54^{a}	47.42±0.98^{ab}	45.34±0.98^{b}	41.25±3.79^{bc}	34.94±4.18^{c}	0.038
超氧化物歧化酶 SOD/(U/g)	210.84±23.91^{b}	236.26±3.24^{a}	239.08±1.46^{a}	245.57±3.36^{a}	250.52±3.93^{a}	0.024
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/g)	1 431.82±116.16^{c}	1 762.25±40.58^{b}	1 889.22±64.25^{b}	1 921.49±32.08^{b}	2 380.23±49.31^{a}	0.014

2.4　虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋黄中虾青素含量的影响

由表 5 可知，对照组蛋黄中没有检测出虾青素，试验组蛋黄中虾青素含量随着虾青素复

合添加剂添加量增加而显著增加（P＜0.05）。

表 5　添加虾青素复合添加剂对蛋黄中虾青素含量的影响

Table 5　Effects of astaxanthin compound additive on yolk astaxanthin content of laying hens　μg/g

项目 Item	组别 Groups					P 值 P-value
	I	II	III	IV	V	
虾青素 Astaxanthin	—	13.25±0.78[d]	18.84±2.63[c]	28.43±3.51[b]	39.87±3.69[a]	0.012

3　讨　论

3.1　虾青素复合添加剂对蛋鸡生产性能的影响

Akiba 等[10]在饲粮中分别添加 15、20 和 30 mg/kg 的虾青素饲喂 4 周龄和周龄雏鸡，Waldenstedt 等[11]在饲粮中分别添加 0、7、36 和 179 mg/kg 虾青素饲喂肉鸡，结果均表明虾青素对肉鸡的生长性能和饲料转化率没有明显改善作用。而 Yang 等[12]的试验结果显示，虾青素可能会维持和促进快速增长肉鸡中有益微生物群落的增长，与对照组相比，有益微生物群落可能具有降低维持能量需求以及提高营养物质利用效率的作用。本试验中，饲粮中添加虾青素复合添加剂后，蛋鸡的平均日采食量、产蛋率和料蛋比均没有产生显著变化，分析其原因可能是因为虾青素复合添加剂对蛋鸡的消化吸收以及饲粮适口性没有明显影响，所以平均日采食量和产蛋率没有发生显著变化，进而导致料蛋比没有显著变化，具体原因有待研究证实。

3.2　虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋品质的影响

由表 3 可以看出，饲粮中添加虾青素复合添加剂后，鸡蛋的平均蛋重、蛋黄百分比、蛋壳厚度以及哈氏单位均没有发生显著变化，这个研究结果与 Ross 等[13]的研究结果一致。蛋黄颜色是鸡蛋的重要指标，颜色越深的蛋黄越受消费者喜爱。在本试验中，蛋黄颜色随着虾青素复合添加剂添加量的增加逐渐加深，饲粮中添加 3.6 g/kg 虾青素复合添加剂后蛋黄颜色最深。Mammershoj[14]研究发现，相比对照组，饲粮中添加虾青素后鸡蛋蛋黄颜色显著加深，蛋黄能够呈现良好的着色效果是因为类虾青素是类胡萝卜素的一种，类胡萝卜素是以棕油酸二酯形式存在的，其在消化道中与低密度脂蛋白相结合，从而被畜禽吸收，其在血液中以游离状态通过脂蛋白这一载体进入蛋黄等组织，然后转化成棕油酸二酯蛋黄内沉积，从而使鸡蛋呈现较深的黄色甚至红色[15-16]。

3.3　虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋黄抗氧化指标的影响

抗氧化剂可以定义为“延迟、阻止或消除目标分子的氧化损伤的物质”[17]或“直接清除活性氧（ROS）或间接调控抗氧化剂的防御或抑制活性氧产生的物质”[18]。抗氧化剂可以相互协调地对抗不同类型的自由基和反应性物质。最有效的酶促抗氧化剂是谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶[19]。虾青素呈红色，其红色是由于化合物中心的共轭双键造成的。这种类型的共轭双键作为一种强抗氧化剂，通过提供电子和与自由基反应，将它们转化为更稳定的产物，并终止生物体中的自由基链式反应[20]。虾青素比其他抗氧化剂具有更好的生物活性[21]，因为它可以从内到外与细胞膜相连。虾青素在蛋黄脂质氧化过程中起到抗氧化作用。Kobayashi 等[22]、Kurashige 等[23]和 Palozza 等[24]均通过试验证明虾青素可以通过增加超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性来改善脂质稳定性。Chen 等[25]研究发现，给小鼠饲喂游离虾青素粉末可以降低血浆和肝脏中丙二醛含量，并且使肝脏中过氧化氢酶活性以及谷胱甘肽含量显著上升。本试验中，随着虾青素复合添加剂添加量的增加，蛋黄中丙二醛含量逐渐下降，蛋黄中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性逐渐上升，添加 3.6 g/kg 虾青素复合添加剂对蛋黄抗氧化指标的影响最明显。由试验结果表明，虾青素复合添加剂可以进入动物机体，并且在蛋黄内沉积，增加蛋黄的抗氧化性能，起到平衡氧化还原的作用；并且，抗氧化性能随着虾青素添加量的增加而提高。

3.4 虾青素复合添加剂对蛋鸡蛋黄中虾青素含量的影响

任延利[26]在肉仔鸡饲粮中添加 45 mg/kg β-胡萝卜素后发现虾青素在鸡肉中的沉积量为 137.3 μg/kg。在本试验中，虾青素复合添加剂的添加量设定为 0.06、0.12、0.24 和 0.36 g/kg，在此添加量范围内，蛋黄中虾青素含量随着虾青素复合添加剂添加量的增加呈现递增趋势。目前，关于类胡萝卜素沉积的研究只涉及到组织、细胞和细胞器水平，至于类胡萝卜素选择性地分布于某些特定的组织及其进入方式，以及它们会产生怎样的生理效应及作用机制尚不清楚，有待进一步研究。

4 结 论

① 饲粮中添加虾青素复合添加剂对蛋鸡生产性能没有显著影响。

② 饲粮中添加虾青素复合添加剂对蛋壳厚度、蛋壳百分比、哈氏单位和蛋黄百分比没有显著影响，对蛋黄颜色有显著影响，蛋黄颜色随着虾青素复合添加剂添加量的增加而加深，以添加量为 3.6 g/kg 时效果最佳。

③ 饲粮中添加虾青素复合添加剂降低了蛋黄中丙二醛含量，提高了蛋黄中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性，以添加量为 3.6 g/kg 时效果最佳。

④ 饲粮中添加虾青素复合添加剂提高了蛋黄中虾青素含量，以添加量为 3.6 g/kg 时效果最佳。

参考文献：

[1] LEE S H,MIN D B.Effects,quenching mechanisms,andkinetics of carotenoids in chlorophyll-sensitised photooxidation of soybean oil[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,1990,38(8):1630–1634.

[2] TANAKA T,MORISHITA Y,SUZUI M,et al.Chemoprevention of mouse urinary bladder carcinogenesis by the naturally occurring carotenoid astaxanthin[J].Carcinogenesis,1994,15(1):15–19.

[3] TANAKA T,MAKITA H,OHNISISHI H,et al.Chemoprevention of rat oral carcinogenesis by naturally occurring xanthophylls,astaxanthin and canthaxanthin[J].Cancer Research,1995,55(18):4059–4064.

[4] JOHNSON E A,VILLA T G,LEWIS M J.Phaffia rhodozyma as an astaxanthin sourse in salmonid diets[J].Aquaculture,1980,20(2):123–134.

[5] JOHNSON E A,LEWIS M J,GRAN C R.Pigmentation of egg yolks with astaxanthin from the yeast phaffia rhodozyma[J].Poultry Science,1980,59(8):1777–1782.

[6] 宋光泉,阎杰,王荣辉,等.天然虾青素的提取纯化及其应用[J].广东化工,2007,34(17):63–66.

[7] 付兴周,路志芳,李东.虾青素复合添加剂对肉鸡生长性能及肉质的影响[J].畜牧与兽医,2017, 49(1):27-30.

[8] 王彤.维生素 D_3、虾青素和生育三烯酚改善鸡蛋营养成分的研究[J].中国家禽,2012,34(13):40-41.

[9] 冯畅.虾青素对 AA 肉鸡血液理化指标和免疫功能的影响研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2010.

[10] AKIBA Y,SATO K,TAKAHASHI K.Meat color modification in broiler chickens by feeding

yeast *Phaffia rhodozyma* containing taining high concentrations of astaxanthin[J].Journal of Applied Poultry Research,2001,10(2):154–161.

[11] WALDENSTEDT L,INBORR J,HANSSON I,et al.Effects of astaxanthin-rich algal meal (*Haematococcus pluvalis*) on growth performance,caecal campylobacter and clostridial counts and tissue astaxanthin concentration of broiler chickens[J].Animal Feed Science and Technology,2003,108(1/2/3/4):119–132.

[12] YANG Y,IJI P A,CHOCT M.Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens:a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics[J].Worlds Poultry Science Journal,2009,65(1):97–114.

[13] ROSS E,DOMINY W.The nutritional value of dehydrated,blue-green algae (*Spirulina platensis*) for poultry[J].Poultry Science,1990,69(5):794–800.

[14] MAMMERSHOJ M.Effects of dietary fish oil with natural content of carotenoids on fatty acid composition,n-3 fatty acid content,yolk colour and egg quality of hen eggs[J].Archiv für Geflügelkunde,1995,59:189–197.

[15] 梁明振,梁贤威.着色剂问题探讨[J].粮食与饲料工业,2002(6):26–27.

[16] 范志勇,沈静玲,贺建华,等.家禽产品着色的原理及应用[J].中国家禽,2004,26(18):26–27.

[17] HALLIWELL B.Biochemistry of oxidative stress[J].Biochemical Society Transactions,2007,35(5):1147–1150.

[18] KHLEBNIKOV A I,SCHEPETKIN I A,DOMINA N G,et al.Improved quantitative structure-activity relationship models to predict antioxidant activity of flavonoids in chemical,enzymatic,and cellular systems[J].Bioorganic & Medicinal Chemistry,2007,15(4):1749–1770.

[19] MATÉS J M,PÉREZ-GÓMEZ C,DE CASTRO I N.Antioxidant enzymes and human diseases[J].Clinical Biochemistry,1999,32(8):595–603.

[20] GUERIN M,HUNTLEY M E,OLAIZOLA M.Haematococcus astaxanthin:applications for human health and nutrition[J].Trends in Biotechnology,2003,21(5):210–216.

[21] YUAN J P,PENG J,YIN K,et al.Potential health-promoting effects of astaxanthin:A

high-value carotenoid mostly from microalgae[J].Molecular Nutrition & Food Research,2011,55(1):150–165.

[22] KOBAYASHI M,KAKIZONO T,HISHIO N,et al.Antioxidant role of astaxanthin in the green alga *Haematococcus pluvialis*[J].Applied Microbiology and Biotechnology,1997,48(3):351–356.

[23] KURASHIGE M,OKIMASU E,INOUE M,et al.Inhibition of oxidative injury of biological membranes by astaxanthin[J].Physiological Chemistry and Pysics and Medical NMR,1990,22(1):27–38.

[24] PALOZZA P,KRINSKY N I.Astaxanthin and canthaxanthin are potent antioxidants in a membrane model[J].Archives of Biochemistry and Biophysics,1992,297(2):291–295.

[25] CHEN Y Y,LEE P C,WU Y L,et al.*In vivo* effects of free form astaxanthin powder on anti-oxidation and lipid metabolism with high-cholesterol diet[J].PLoS One,2015,10(8):e0134733.

[26] 任延利.β-胡萝卜素对肉仔鸡生长性能、色素沉积及抗热应激能力的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2008.

Effects of Astaxanthin Compound Additive on Performance, Egg Quality, Yolk Antioxidant Indexes and Yolk Astaxanthin Content of Laying Hens

WANG Junyi[1] YAN Yan[1] JIN Huidong[2] XI Daxing[3] YAN Changguo[1] LI Xiangzi[*]

(1. *Beef Cattle Science Industry Technology Collaborative Innovation Center*, *Yanbian University, Yanji* 133000, *China*; 2. *Animal Disease Prevention and Control Center of Yanji City in Jilin Province*, *Yanji* 133000, *China*; 3. *Jilin Xima Biotechnology Co*., *Ltd*., *Liaoyuan* 136200, *China*)

Abstract: The purpose of this experiment was to investigate the effects of adding astaxanthin compound additive to laying hen diets on performance, egg quality, yolk antioxidant indexes and yolk astaxanthin content of laying hens. Three hundred and sixty 43-day-old *Jinghong* hens were selected and randomly divided into five groups and each group consisted of six replicates with 12 hens each. Laying hens in group Ⅰ (control group) were fed with a basal diet, those in groups

*Corresponding author, associate professor, E-mail： lxz@ybu.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

Ⅱ to Ⅴ (experimental groups) were fed the basal diet added with 0.6, 1.2, 2.4 and 3.6 g/kg astaxanthin compound additive, respectively. There was a pretrial period of 4 weeks followed by an experimental period of 6 weeks. The results showed as follows: 1) the addition of astaxanthin compound additive had no significant effects on average daily feed intake, laying rate and feed/egg of laying hens (P>0.05). 2) The addition of astaxanthin compound additive had no significant effects on average egg weight, yolk percentage, eggshell thickness and Haugh unit (P>0.05). The yolk color of each experimental group was significantly higher than that of the control group (P<0.05). With the addition amount of astaxanthin compound additive increasing, the yolk color gradually deepened. 3) With the addition amount of astaxanthin compound additive increasing, the yolk malondialdehyde content gradually increased, and the yolk superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities gradually increased. The yolk malondialdehyde content in groups Ⅲ, Ⅳ and Ⅴ was significantly lower than that of the control group (P<0.05). The yolk superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities in each experimental group were significantly higher than those of the control group (P<0.05). 4) Astaxanthin was not found in control group, and it in experiment groups was significantly increased with the addition amount of astaxanthin compound additive increasing (P<0.05). In conclusion, the addition of astaxanthin compound additive has no significant effects on the performance, but can increase the yolk antioxidation property and the yolk astaxanthin content, and the addition amount of the best effect of astaxanthin compound additive is 3.6 g/kg.

Key words: laying hens; astaxanthin; performance; egg quality; antioxidant